

## 明細書

### 圧電アクチュエータ

#### 技術分野

[0001] 本発明は、電子機器に用いられる小型圧電アクチュエータに関する。

#### 背景技術

[0002] 一般的に、スピーカなどの音響素子の駆動源として、その取り扱いの容易さから、電磁式アクチュエータが利用されている。電磁式アクチュエータは永久磁石とボイルコイル、振動板から構成されており、磁石を用いたステータの磁気回路の作用を利用してコイルに固着された有機フィルムなどの低剛性な振動板を振動させるものである。このため、その振動姿態は往復運動状で、大振幅の振動量を得られる特徴がある。

[0003] ところで、近年携帯電話やパーソナル・コンピューターの需要が増えており、省電力型のアクチュエータの需要が高まっている。しかし、電磁式アクチュエータは、磁力を発生する際にボイスコイルに多くの電流が流れ、消費電力の低減が難しいという課題がある。また、携帯電話やパーソナル・コンピューターへの搭載にあたっては、アクチュエータの小型化が必要となるが、電磁式アクチュエータは、構成部品である永久磁石を薄型化すると磁極の向きの不揃いが生じて安定な磁界が得られないため、振動膜およびボイスコイルの連動を制御することが困難であり、その構成上薄型化が難しい。また、ボイルコイルからの漏洩磁束によって、電子機器を構成する他の電子部品の誤動作を引き起すおそれがあるため、電子機器への適用に対しては電磁シールドなどを施す必要があるが、そのために大きなスペースを要し、この点からも携帯電話などの小型機器への使用は適さない。さらに、ボイスコイルの細線化により抵抗が増大すると、電磁型音響素子の特徴である大電流駆動のため、ボイスコイルが焼損するという問題もある。

[0004] このため、小型軽量、低消費電力、無漏洩磁束などの特徴を有する圧電素子を駆動源に用いた圧電アクチュエータが、電磁式に代わる薄型振動部品として期待されている。圧電アクチュエータは、薄板形状の圧電素子の伸縮運動すなわち圧電素子

の屈曲運動により振動発生をおこなうもので、特開昭61-168971号公報明細書に開示されているように、圧電セラミック素子と恒台座とが接合されて製作される。

- [0005] 従来の圧電アクチュエータの一例を図1A、1Bに示す。図1Aは圧電アクチュエータの分解斜視図を示す。円形の台座202の中央に圧電セラミクスよりなる圧電体203が固定されて圧電素子201が形成され、台座202の外周部が円形の支持部材204に支持されている。圧電体203に所定の交流電圧が印加されると、圧電体203は伸縮運動を行い、圧電体203と台座202との固定部の拘束効果により、台座202に面外方向の曲げが励起され振動を発生する。台座202は、図1Bに示すように、支持部材204を固定点(節)として、中央部を腹として面外方向に振動する。
- [0006] ところで、圧電アクチュエータは、圧電セラミックの剛性が高いため、電磁式アクチュエータと比較して平均振動振幅が小さいという課題があった。特に、周辺固定の圧電アクチュエータは、振動モードが中央部の変形が卓越する山形形状となるため、平均変形量が小さく、十分な振動振幅を得ることが一層難しい。さらに、圧電セラミックの高い剛性のため、共振周波数近傍の振動量の周波数変化が急激であり、振動振幅の平滑な周波数特性を得ることも困難であった。
- [0007] また、圧電アクチュエータの共振周波数は形状に大きく依存するため、スピーカなどの低周波音響部品に適用する際に共振周波数を低減するためには、圧電セラミック素子の薄板面積の拡大や極度の薄板化が必要となる。しかしながら、セラミック材料は脆性材料であるため、面積の拡大や薄板化は、取り扱い時のヒビ割れや電子機器落下時の破壊などの信頼性の低下をもたらし、実用に適さない場合が多い。
- [0008] また、圧電セラミックは振動反力が大きいため、圧電アクチュエータを電子機器に適用する際、支持部を介して、圧電アクチュエータ収納する筐体に振動が伝播しやすい。このような振動漏れが生じると、筐体から異音を発するという課題も生じる。
- [0009] そこで、以上の課題に対処するため、特開2000-140759号公報明細書には、圧電セラミックと台座からなる振動体の周辺部をバネで筐体に支持し、バネ構造物の共振周波数を振動体の共振周波数の近傍に設定して、バネ構造物に大きな振動エネルギーを分担させて大きな振動変位を得る技術が開示されている。
- [0010] また、同様の趣旨で、特開2001-17917号公報明細書には、台座の周辺部に円

周に沿ってスリットを入れて板バネを形成し、同様の機能を持たせる技術も開示されている。

## 発明の開示

- [0011] しかしながら、特開2000-140759号公報明細書に開示された技術においては、圧電体の振動変位を大きく増加できるものの、振動体の上下運動のために、振動体平面方向に対して垂直方向にバネを配置する必要があり、圧電アクチュエータの厚みが増加し、薄型化には適さない。また、本特許文献の構成では、筐体にバネと振動板をはさみこんでおり、振動板を最適に位置に配置することが非常に困難である。
- [0012] また、特開2001-17917号公報明細書に開示された技術においては、台座が略円形でないと板バネの形成が難いため、円形の台座に、円形の圧電セラミックまたは矩形の圧電セラミックを組み合わせることが必要である。前者の場合、圧電セラミックを円形に加工する必要があるため、円形形状への加工が必要となったり、その際に不要な部分が形成され歩留まりが悪化したり等、加工の工数やコストが増加する。一方、後者の場合、台座の外周部に圧電セラミックが有效地に配置されないため、台座への振動伝達が効率的に行われず、十分な振動変位を得ることが難しくなる。さらに、いずれの場合においても、円板にスリットを設けて板バネを形成することから、作動時に圧電セラミックの支持部に回転運動が誘起され、振動膜を貼付して音響素子として用いる際に音が歪んでしまう。
- [0013] 本発明は、以上の状況に鑑みて、外形寸法の増加を避けつつ、振動振幅が大きく、共振周波数の調整が可能であり、高信頼性を有する、電子機器に適用可能な小型薄型圧電アクチュエータを提供することを目的とする。
- [0014] 以上の課題を解決するため、本発明の圧電アクチュエータは、電界の状態に応じて少なくとも対向する2つの面が伸縮運動をする圧電体を有する圧電素子と、圧電素子を2つの面の少なくともいずれかで拘束する拘束部材と、拘束部材の周囲に設けられた支持部材と、両端の各々を拘束部材と支持部材とに固定され、拘束される面と略平行な方向に曲げの中立軸を有する複数のはり部材とを有している。
- [0015] このように構成された圧電アクチュエータにおいては、拘束部材は、拘束部材と圧電素子との拘束効果で発生した振動がはり部材で増幅されることによって振動する。

すなわち、拘束部材の物性、形状、個数や圧電体の重量等で定まる共振周波数で振動を励起されると、変形量に制約のある圧電体の変形量を抑えながら、主として拘束部材が変形して、圧電体全体を支持部材に対して大きく振動させることができる。また、拘束部材の物性(材料)や個数等を調整することで容易に共振周波数の調整も可能である。したがって、本発明の圧電アクチュエータは、薄型小型で、振動振幅が大きく、外径寸法を変えずに共振周波数の調整が可能で、高い信頼性を有することができる。

- [0016] ここで、はり部材は直線ばかりとすることができます。また、拘束部材は圧電素子を拘束する台座と、台座から突き出してはり部材を構成する複数の腕とを有するものであつてもよい。
- [0017] 拘束部材は、圧電体と振動方向が異なる第2の圧電素子とすることもできる。
- [0018] また、圧電素子は、複数の圧電体と、圧電体に電界を印加する複数の電極層とを交互に積層して形成してもよく、圧電素子は2つの面の少なくともいずれかに絶縁層を有していてもよい。
- [0019] さらに、前記圧電素子は直方体とすることができます。
- [0020] 本発明の音響素子は、上記に記載の圧電アクチュエータと、圧電アクチュエータと連結され、圧電アクチュエータから伝達された振動によって音を放射する振動膜とを有している。
- [0021] また、本発明の音響素子は、圧電アクチュエータと振動膜との間に振動伝達材をさらに有していてもよい。
- [0022] 本発明の電子機器は、上記に記載の圧電アクチュエータまたは音響素子を有している。
- [0023] 本発明の音響装置は、互いに異なる共振周波数を有する上記の音響素子を複数個有し、音圧の周波数応答を平準化させることができる。また、本発明の電子機器は、上記音響装置を有している。
- [0024] 以上説明したように、本発明の圧電アクチュエータは、主として拘束部材が変形して、圧電体全体を支持部材に対して大きく振動させることができる。また、拘束部材の物性(材料)や個数等を調整することで容易に共振周波数の調整も可能である。さ

らに圧電アクチュエータを搭載した電子機器が落下したときも、衝撃エネルギーを弾性体である拘束部材が吸収するため、圧電体への衝撃を緩和することができる。このように本発明は、薄型小型で、振動振幅が大きく、外径寸法を変えずに共振周波数の調整が可能で、高い信頼性を有する圧電アクチュエータを提供することができる。

### 図面の簡単な説明

- [0025] [図1A]図1Aは、従来の圧電アクチュエータの分解斜視図である。
- [図1B]図1Bは、従来の圧電アクチュエータの振動モードの概念図である。
- [図2]図2は、本発明の第1の実施形態に係る圧電アクチュエータの分解斜視図である。
- [図3]図3は、圧電アクチュエータの台座の他の実施形態を示す平面図である。
- [図4]図4は、図2に示す圧電アクチュエータの振動モードの概念図である。
- [図5]図5は、本発明の第2の実施形態に係る圧電アクチュエータの概念的断面図である。
- [図6]図6は、図5に示す圧電アクチュエータの振動モードの概念図である。
- [図7]図7は、本発明の第3の実施形態に係る圧電素子の概念的断面図である。
- [図8]図8は、本発明の第4の実施形態に係る圧電素子の概念的断面図である。
- [図9]図9は、本発明の第5の実施形態に係る圧電アクチュエータの概念的断面図である
- [図10]図10は、平均振動速度振幅の測定点の説明図である。
- [図11A]図11Aは、振動形態と振動速度比の説明図である。
- [図11B]図11Bは、振動形態と振動速度比の説明図である。
- [図12A]図12Aは、実施例1に係る圧電アクチュエータの平面図である。
- [図12B]図12Bは、実施例1に係る圧電アクチュエータの分解斜視図である。
- [図13]図13は、比較例1に係る圧電アクチュエータの概念的断面図である。
- [図14]図14は、実施例2に係る圧電アクチュエータの平面図である。
- [図15]図15は、実施例4に係る圧電素子の概念的断面図である。
- [図16]図16は、実施例5に係る圧電素子の分解斜視図である。
- [図17]図17は、実施例6に係る圧電素子の概念的断面図である。

[図18]図18は、実施例7に係る音響素子の概念的断面図である。

[図19]図19は、比較例2に係る音響素子の概念的断面図である。

[図20A]図20Aは、実施例8に係る音響素子の概念的断面図である。

[図20B]図20Bは、実施例8に係る音響素子のコイルレバネの概念図である。

[図21]図21は、実施例8に係る音響素子の携帯電話への取付け状況図である。

[図22]図22は、比較例4に係る音響素子の概念的断面図である。。

### 符号の説明

- [0026] 1a、1c、1d、1e、1f 壓電素子  
3a、3d、3e 壓電体  
3c 上部圧電体  
3c' 下部圧電体  
21a、21b、21f 台座  
22a、22b、22c はり部材  
4a、4b、4c 支持部材  
31a、31c、31c'、31d、31e、31e' 上部電極層  
32a、32c、32c'、32e、32e' 下部電極層  
33e 上部絶縁層  
33e' 下部絶縁層  
34 振動膜  
35 中間絶縁層  
36 絶縁層

### 発明を実施するための最良の形態

- [0027] 以下、図面を用いて本発明の実施形態について説明する。図2は、本発明の第1の実施形態に係る圧電アクチュエータの分解斜視図である。圧電素子1aは、セラミックからなる圧電体3aの互いに向きあう面に、上部電極層31a、下部電極層32aが接着固定されて構成されている。接着剤としては、例えばエポキシ系接着剤が使用される。圧電体3aは略直方体形状をしており、図中白抜き矢印に示す厚さ方向に分極されている。圧電体3aは下部電極層32aを介して矩形の台座21aに固定されている。

すなわち、台座21aは電界の状態に応じて少なくとも対向する2つの面が伸縮運動をする圧電体を有する圧電素子を2つの面の少なくともいずれかで拘束する拘束部材である。台座21aの材料には、アルミ合金、リンセイ銅、チタン、チタン合金などの金属や、エポキシ、アクリル、ポリイミド、ポリカーボネートなどの樹脂等、圧電体3aを構成するセラミック材料より低剛性の材料を広く用いることができる。なお、圧電体3aは直方体である必要はなく、例えば設置スペースとの関係で円筒形その他の形状にすることも可能である。

- [0028] 台座21aの周辺には矩形の中空部を有する支持部材4aが設けられ、はり部材22aが支持部材4aと台座21aとの間を連結している。はり部材22aは台座21aの各辺から対向する支持部材4aの各辺に向かって延びており、両端部は台座21a、支持部材4の接合部で各々固定支持されている。はり部材22aは台座21aと同様の材料で製作することができる。
- [0029] なお、支持部材4aは特定の形状に限定されるものではなく、穴あき矩形以外に、例えば環状部材(図12参照)としてもよい。また、はり部材22aと台座21aは別々の部材で製作せずに一体構造とすることもできる。一例として、図3のように十字型の台座21bを用いて十字の交差する領域に圧電素子1aを設置し、その領域を囲む各辺から延びる直線状の4本の腕(はり部材22b)を周囲の支持部材4bに固定することで、各腕をはり部材22bとして機能させることができ、同様の効果が得られる。このような構成にすれば、矩形の素材の4隅を切り欠くだけで、台座21bの一部をはり部材22bとして一体で形成することができ、製作性に優れるとともに、圧電素子1aの設置領域とはり部材22bとの接合部の経年劣化のおそれも少なく、信頼性も向上する。
- [0030] はり部材22aは圧電素子1a全体を台座21aの面外方向に振動させるように曲げ変形する。圧電素子1aとはり部材22aとからなる振動系は、台座21aの面外方向の曲げ振動に対して一定の固有振動数を有しており、その固有振動数で共振を生じて大きく上下に振動する。固有振動数は、はり部材22aの物性(主としてヤング率)、断面形状、長さ、個数、台座および圧電体3aの重量等によって決まる。以下に振動の発生メカニズムを詳細に説明する。
- [0031] まず、圧電素子1aの上部電極層31a、下部電極層32aに交流電界を印加すると圧

電素子1aは伸縮運動を行う。具体的には、圧電素子1aは、圧電体3aが押しつぶされる変形モード(上部電極層31a、下部電極層32aの固定されている面が広がり、圧電体3aの高さ(上部電極層31aと下部電極層32aとの間隔)が縮小する変形モード)と、圧電体3aが高さ方向に細長く伸びる変形モード(上部電極層31a、下部電極層32aの固定されている面が縮小し、圧電体3aの高さが伸びる変形モード)とを、電界の向きに従って交番的に繰り返す。この結果、固定面が広がると、台座21aの表面は、台座部21aと圧電体3aとの拘束によって、圧電体3aの反対方向に反るように変形する。逆に固定面が縮むと、台座21aの表面は圧電体3aのある方向に反るように変形する。これらの運動によって、台座21aの周縁部は上下方向に振動し、その動きが台座21aに設けられた複数のはり部材22aに伝達される。はり部材22aは支持部材4に固定されているため、固定された支持部材4aを中心にはり部材22aおよびはり部材22aに支持された圧電素子1aが上下に大きく振動する。

- [0032] 図4には圧電アクチュエータの振動モードを概念的に示す。はり部材22aの変形が相対的に大きく、圧電体3aの変形は相対的に小さいため、図1Bに示したような山形の振動モードではなく、ピストン型の振動モードとなる。このため、圧電体3aに大きな変形や歪を与えることなく、圧電素子1aを上下方向に大きく往復運動させることができる。
- [0033] 本発明の圧電アクチュエータはさらに以下の利点を有する。
- [0034] まず、本発明の圧電アクチュエータの振動特性は、はり部材22aの材料特性、個数、幅、長さ等を変化させることによって容易に変えることができる。したがって、振動特性の異なる圧電アクチュエータを製作する場合にも、はり部材22aだけを変更すればよく、外形寸法を変えることなく、容易に共振周波数を変更することができる。さらに、部材の標準化、共通化の範囲が拡大するため、コストの低減にも寄与する。
- [0035] また、圧電素子3aや支持部材4aは形状の制約がないため、搭載機器の設置スペースへの適合性が優れている。特に、本発明の圧電アクチュエータは圧電素子3aを矩形形状とすることができます、台座21aおよびはり部材22aの形状も単純なものとすることでできるため、円形の圧電素子と比べ製作性に優れる。
- [0036] また、高価な圧電素子を極端に薄型化せずに圧電アクチュエータの共振周波数の

低減が可能であるため、圧電素子の強度の確保が容易である。さらに、従来の圧電アクチュエータは、搭載されている電子機器の落下時に、セラミック部が衝撃歪みを受けて、割れなどの破壊が生じやすかったが、本発明では、衝撃歪は主にはり部材22aに吸収されるため、セラミック部への衝撃歪を回避することができ、機械的な信頼性が向上する。これらの点から、低周波音響素子の実現も安価かつ容易に行える。

[0037] また、支持部材4とはり部材22aは完全に接合固定されているため、接合部は圧電アクチュエータ振動時に振動の節になる。このため、振動が圧電アクチュエータから接合部を介して電子機器側に伝播しにくく、接合部の振動による疲労破壊や異音発生のおそれが低下し、信頼性が向上する。

[0038] 以上のように、本発明の圧電アクチュエータは簡易な構造で、信頼性が高く、製作性にも優れ、大振幅振動を容易に得ることができる。

[0039] なお、本圧電アクチュエータは携帯電話に適用されるにとどまらず、例えば、変位量または振動量を圧電アクチュエータの印加電気量により調整することによって、カメラモジュールなどの機能部品に高精度なズーム機能や、手ぶれ調整機能を付与することができる。したがって、本圧電アクチュエータを搭載した電子機器の工業的価値も高まる。

[0040] 図5には本発明の第2の実施形態の圧電アクチュエータの概念的断面図を示す。図6には本実施形態の圧電アクチュエータの振動モードを示す。一般に圧電体の厚み方向に分極された2枚の圧電体を貼り合わせて形成した圧電アクチュエータをバイモルフというが、本実施形態は本発明の趣旨をバイモルフに適用したものである。図5に示すように、圧電素子1cは、上部圧電体3cと下部圧電体3c'が接合され、その中間に絶縁層36を挟んだ積層構造となっている。より詳細には、上部圧電体3cは上部電極層31cと下部電極層32cとに挟まれ、下部圧電体3c'は上部電極層31c'と下部電極層32c'とに挟まれ、下部電極層32cと上部電極層31c'との間に絶縁層36が配置されている。すなわち、本圧電アクチュエータは、下部圧電体3c'と上部電極層31c'、下部電極層32c'とを有する第2の圧電体を有する。また、上部圧電体3cと下部圧電体3c'の分極方向は、図中白抜き矢印に示すように、相互に逆方向を向いている。なお、絶縁層36は台座21aでもよい。すなわち、実施形態1において、

台座21aの下側に上部電極層31a、圧電体3a、下部電極層32aを鏡対称に設けたような構造でもよい。

- [0041] 圧電素子1cに交流電界を印加すると、上部圧電体3cと下部圧電体3c'の一方が伸びて他方が縮むため、圧電素子1cは、図6に示すように、上部圧電体3cと下部圧電体3c'との相互拘束効果によって、自己屈曲振動を行うことができる。したがって本実施形態の圧電素子1cでは、台座部を設ける必要がない。さらに、各電極に第1の実施形態と同じ交流電圧を印加した場合、電界強度は2倍、駆動力は2倍になり振動振幅量は4倍になる。
- [0042] 図7には本発明の第3の実施形態の圧電アクチュエータの概念的断面図を示す。図面では圧電素子のみを記載しているが、はり部材や支持部材は、例えば第1の実施形態と同様に構成できる。圧電素子1dは、圧電体3dと電極層31dとを交互に積層した積層構造で形成されている。各圧電体3dは分極方向が交互に逆向きになっており、また、電界の向きも交互に逆向きとなるよう配線されている。このため、電界を付加すると、すべての圧電体3dが同じように変形するため、振動変位量は圧電体の層数に比例して増大する。
- [0043] 図8には本発明の第4の実施形態の圧電アクチュエータの概念的断面図を示す。本実施形態は、第2の実施形態において各圧電体の上下および中央部に絶縁層を設けたものである。すなわち、上部圧電体3eは上部電極層31e、下部電極層32eに挟まれており、下部圧電体3e'は上部電極層31e'、下部電極層32e'に挟まれている。また、上部電極層31eの上部には上部絶縁層33eが、下部電極層32e'の下部には下部絶縁層33e'が設けられている。さらに、下部電極層32eと上部電極層31e'の間には中間絶縁層35eが設けられている。このような層構成とすることによって、金属の台座を用いて接合しても台座に電気漏洩が生じないため、安全な取り扱いが可能になる。
- [0044] 図9には本発明の第5の実施形態の圧電アクチュエータの概念的断面図を示す。本実施形態の圧電素子1fは、台座21fの下方に振動膜34を接合したものである。振動膜34の基材としては、紙や、ポリエチレンテレフタレートなどの有機フィルムを用いることができる。振動膜34によって、共振周波数近傍の急峻な振動の変化が抑制で

き、平潤な音圧・周波数特性を有するスピーカ、レシーバなどの音響素子を実現できる。また、振動膜34の基材として絶縁材料である有機フィルムを用いると、基材上にメッキ技術などにより圧電素子21fへの金属配線を施すことができ、金属配線を電気端子リードとして利用できる。そして、電極材料の導通などを回避することができるため、信頼性が向上する。なお、振動膜34は圧電素子1fと台座21fの間に設けてよい。

[0045] さらに、振動膜と台座21fの接合の際に、ゴム、発砲ゴムなどの振動伝達材を介して接合するとより高い平潤効果が得られる。また、共振周波数の異なる複数個の圧電アクチュエータに振動膜を接合し、電子機器に適用すると、広範囲の周波数にわたり音圧が平潤な音響装置ができる。

### 実施例

[0046] 本発明の圧電アクチュエータの特性評価を下記実施例1～9、比較例1～4によって行い、本発明の効果を評価した。以下に評価項目を示す。

(評価1) 共振周波数の測定:交流電圧1V入力時の共振周波数を測定した。

(評価2) 最大振動速度振幅:交流電圧1V印加、共振時の最大振動速度振幅を測定した。

(評価3) 平均振動速度振幅:図10に示すように、圧電素子1の長手方向に均一に分割された測定点20点(図中1～20で表示)において振動速度振幅を測定し、これらの平均値を算出した。

(評価4) 振動形態:図11A、11Bで示すように、振動速度比を平均振動速度振幅 $V_{max}$ ／最大振動速度振幅 $V_m$ と定義して振動形態を判断した。図中の曲線は振動速度振幅分布を示す。振動速度比が小さいときは、図11Aのような屈曲(山形)運動を示す。振動速度比が大きいときは、図11Bのような往復(ピストン型)運動を示す。ここでは、振動速度率が80%以上の場合は往復運動、振動速度率が80%未満の場合は屈曲運動とした。

(評価5) Q値:交流電圧1V印加、共振時のQ値を測定した。Q値が低いほど、音圧周波数特性が平潤である。

(評価6) 音圧レベルの測定:交流電圧1V入力時の音圧レベルを測定した。

(評価7)落下衝撃試験:圧電アクチュエータを搭載した携帯電話を50cm直上から、5回自然落下させ、落下衝撃安定性試験を行った。具体的には、落下衝撃試験後の割れ等の破壊を目視で確認し、さらに、試験後の音圧特性を測定した。

[0047] (実施例1)

図12A、12Bに示す圧電アクチュエータを作製した。図12Aには台座、はり部材、および支持部材の上面図を示す。図中の数値の単位はmmである。また、図12Bには圧電素子の分解斜視図を示す。実施例1の圧電アクチュエータは、圧電素子101aと、台座121aと、支持部材104aと、はり部材122aとを有している。圧電素子101aは台座121aにエポキシ系接着剤で接合されており、台座121aは4つのはり部材122aを介して、支持部材104aに接続されている。

[0048] 圧電素子101aは、図12Bのように、上部絶縁層133a、上部電極層131a、圧電体103a、下部電極層132a、下部絶縁層133a'から構成される单層型圧電素子である。上部絶縁層133aおよび下部絶縁層133a'は、長さ10mm、幅10mm、厚さ $50\mu m$ である。圧電体103aは、長さ10mm、幅10mm、厚さ $300\mu m$ である。上部電極層131a、下部電極層132aは厚さ $3\mu m$ である。従って、圧電素子101aの形状は一边10mmの正方形で、厚さ約0.4mmである。

[0049] 圧電体103a、上部絶縁層133a、下部絶縁層133a'はジルコン酸チタン酸鉛系セラミックを用い、上部電極層131a、下部電極層132aは銀／パラジウム合金(重量比70%:30%)を用いた。圧電素子の製造はグリーンシート法により行い、大気中で1100°C、2時間焼成させた。そして、電極層を結線する外部電極として厚さ $8\mu m$ の銀電極を形成して、圧電体103aに分極処理を施し、上部絶縁層133aの表面に設けた電極パット136aを $8\mu m$ の銅箔で接合し結線した後、 $\phi 1mm$ 、高さ0.5mmのはんだ部(図示せず)を介して、2本の $\phi 0.2mm$ の電極端子リード線115を接合した。

[0050] 台座121aはリン青銅製で、厚さ0.05mmである。台座121aは、切断加工により図12Aの形状に調整した。また、台座121aに取り付く4つのはり部材122aはSUS304製で、すべて幅4mm、長さ4mm、厚さ0.2mmの同一形状を有し、環状の支持部材104aに接続している。

[0051] 以上のようにして作製された本実施例の圧電アクチュエータは、直径16mm、厚さ

0.45mmの円形、小型薄型の圧電アクチュエータである。振動姿態は図11Bに示す往復運動であり、共振周波数は529HZ、最大振動速度振幅は180mm/s、最大振幅量変化は0.83であった。

[0052] (比較例1)

実施例1の効果を説明するために、図13で示す従来型の圧電アクチュエータを作製した。長さ16mm、幅8mm、厚さ0.4mmの圧電素子1101aを実施例1と同様な方法で作製し、金属板1105(リン青銅、厚さ0.1mm)を接合して圧電アクチュエータを作製し、両端を支持部材1104aに支持させた。

[0053] 作製した圧電アクチュエータの振動姿態は図11Aに示す屈曲運動で、共振周波数は929HZ、最大振動速度振幅は1480mm/s、最大振幅量変化は0.47であった。

[0054] 実施例1と比較例1とを比較することにより、低い共振周波数を有し、振動振幅が大きく、平滑な振動振幅を有する圧電アクチュエータが実現できることが確認された。

[0055] (実施例2)

実施例2では、台座に取り付くはり部材の数を、実施例1の4個から2個に変更し、共振周波数がどの程度低減するかを確認した。図14に示すように、はり部材の個数以外の条件は実施例1と同様で、圧電アクチュエータの形状は厚さ0.45mm、16mmの円形である。図中の数値の単位はmmである。圧電アクチュエータの振動姿態は往復運動であり、共振周波数は498HZ、最大振動速度振幅172mm/s、最大振動量変化は0.86であった。

[0056] 実施例1と2とを比較することにより、はり部材の個数を変更することで、振動形態や振動速度振幅を大きく変化させることなく、共振周波数を低減できることが確認された。

[0057] (実施例3)

実施例3では、実施例2の構成において、台座の材質をリン青銅製からSUS304に変更した。その他の条件は実施例2と同じである。圧電アクチュエータの振動姿態は往復運動であり、共振周波数は572HZ、最大振動速度振幅189mm/sであった。

[0058] 実施例2と3とを比較することにより、台座の材質を変更することで、アクチュエータ

の形状、振動形態、および最大振動速度振幅を大きく変えることなく、共振周波数を調整できることが確認された。

[0059] (実施例4)

実施例4では、振動方向が異なる2枚の圧電素子を用いて、バイモルフ型圧電アクチュエータを作製した。図15に示すように、圧電素子101cは同一形状の圧電体103c、103c'を振動方向が異なるように接合したものである。圧電体103c、103c'は10mmの正方形、厚さ0.2mmである。したがって、圧電素子101cの形状は、実施例2と同じである。また、圧電素子以外の構成はすべて実施例2と同じである。

[0060] 圧電アクチュエータの振動姿態は往復運動であり、共振周波数は487HZで、最大振動速度振幅は352mm/sであった。

[0061] 実施例2と4とを比較することにより、振動方向が異なる2枚の圧電板を接合させたバイモルフ型圧電素子を用いることで、最大振動変位量を大きく増加できることが確認された。

[0062] (実施例5)

実施例5では、実施例2に対して、圧電素子を単層型から積層型に変更した。本実施例の積層型の圧電素子101dは3層型の積層型圧電素子で、図16で示されるように、上部絶縁層133dと、4枚の電極層131dと、3枚の圧電体103dと、下部絶縁層133d'が積層されて構成されている。上部絶縁層133dと下部絶縁層133d'は一辺10mmの正方形で、厚さ $80\mu m$ である。圧電体103dは一辺10mmの正方形で、厚さ $80\mu m$ である。電極層131dは一辺10mmの正方形で、厚さ $3\mu m$ である。従って、圧電素子101dは一辺10mmの正方形で、厚さ約0.4mmである。また、圧電アクチュエータの形状は、実施例2と同じく、厚さ0.45mm、16mmの円形である。

[0063] 上部絶縁層133d、下部絶縁層133d'、圧電体103dは、ジルコン酸チタン酸鉛系セラミックスを用いた。電極層131dは銀／パラジウム合金(重量比70%:30%)を用いた。圧電素子101dの製造はグリーンシート法により行い、大気中で1100°C、2時間焼成させた。そして、図12と同様に、各電極層131dを結線する銀電極を形成した後、圧電体103dの分極の向きを揃える分極処理を施し、上部絶縁層133dの表面に設けた電極パット(図示せず)を銅箔で接合し、結線した。

[0064] 圧電アクチュエータの振動姿態は往復運動であり、共振周波数は495HZ、最大振動速度振幅518mm／sであった。

[0065] 実施例2と5とを比較することにより、圧電素子を積層構造にすることで、共振周波数を変化させずに、最大振動速度振幅を大きく増加できることが確認された。

[0066] (実施例6)

本実施例では、図17に示すように、実施例4のバイモルフ圧電素子において、2枚の圧電板の間に絶縁層135eを設けた。絶縁層135eには、0.1mm厚のポリエチレンテレフタレート(PET)フィルムを用いた。実施例6の構成は、実施例4に対して絶縁層135eを追加した点のみが異なり、その他の構成は実施例4と同一である。本実施例の圧電アクチュエータ厚さは、実施例2に対して絶縁層135eの分だけ0.1mm増え、0.55mmである。

[0067] 圧電アクチュエータの振動姿態は往復運動であり、共振周波数は442HZ、最大振動速度振幅186mm／sであった。また、同条件で素子を50個製造したところ、すべての素子で電気漏洩が確認されず、安全な取り扱いが可能な素子であることが確認された。

[0068] 実施例4と6とを比較することにより、圧電素子に絶縁層を設けることで、台座に金属を用いた場合でも電気漏洩が抑制され、安全な取り扱いが可能で、振動変位量が大きい圧電アクチュエータが実現できることが確認された。

[0069] (実施例7)

本実施例では、図18に示すように、実施例2の圧電アクチュエータに振動膜134fを接合して音響素子39を作成し、振動膜134fに伝達された振動により音を放射させた。具体的には、台座121fの裏側に、0.05mm厚のポリエチレンテレフタレート(PET)フィルムからなる振動膜134fを貼付した。

[0070] 音響素子の共振周波数は483HZ、Q値は8.76、音圧レベルは98dBであった。

[0071] (比較例2)

実施例7の圧電アクチュエータの効果を比較するために、図19に示すように、従来型の圧電音響素子を作製した。この音響素子は比較例1の圧電アクチュエータ(図13参照)に実施例7と同様の振動膜134f'を貼り付けたものである。作製した音響素

子の共振周波数は796HZ、Q値は37、音圧レベルは79dBであった。

[0072] 実施例7と比較例2とを比較することにより、周波数帯域が広く、平潤な音圧周波数特性を有し、高い音圧レベルを有する音響素子が実現できることが確認された。

[0073] (実施例8)

本実施例では、実施例7の音響素子39において、図20Aに示すように、圧電素子101gと振動膜34gとの間に円錐形のコイルバネ38を振動伝達部材として介在させた。コイルバネ38は、図20Bに示すように、厚さ0.2mm、最小コイル半径2mm、最大コイル半径4mmで、ステレンス鋼線により形成されている。最小コイル半径面は台座121gに、最大コイル半径面は振動膜34gにエポキシ系接着剤によって接合されている。コイルバネ38を設けた点を除き他の構成は実施例7と同様である。実施例7の音響素子の厚さは実施例2の素子の厚さにコイルバネ38の厚さ0.2mmが加わり、0.7mmである。

[0074] 作製した音響素子の共振周波数は457HZ、Q値は9.8、音圧レベルは108dBであった。

[0075] 実施例7と8とを比較することにより、振動膜と圧電アクチュエータとの間に振動伝達部材を介在させることで、共振周波数を低減でき、さらに音圧レベルを向上できることが確認された。

[0076] (実施例9)

図21に示すように、実施例7の音響素子39を携帯電話51に搭載し、音響素子39の30cm距離の音圧レベルと音圧周波数特性を測定した。共振周波数は501HZ、音圧周波数特性は平潤な特性であり、Q値は8.12、音圧レベルは95dBであった。また、落下衝撃試験を行った結果、5回落下後においても圧電素子の割れが確認できず、5回落下後に音圧レベル測定をしたところ、94dBを示した。

[0077] (比較例3)

比較例2の圧電音響素子を携帯電話51に搭載した。実施例9と同様に、音響素子30cm距離の音圧レベルと音圧周波数特性を測定したところ、共振周波数は821HZ、音圧周波数特性は凹凸が激しい特性になり、音圧レベルは75dBであった。また、落下衝撃試験を行ったところ、2回落下後に圧電素子の割れが確認され、この時点

での音圧を測定したところ、60dB以下になった。

[0078] 実施例9と比較例3とを比較することにより、実施例9の音響素子を携帯電話に搭載することで、周波数帯域が広く、高い音圧を有し、平潤な音圧周波数特性で音を再生できることが確認された。また、本発明の音響素子は、落下衝撃安定性が高いことが確認された。

[0079] (比較例4)

図22に示すように、比較例4の電磁式音響素子61を携帯電話に搭載した。本比較例の音響素子は、永久磁石62、ボイスコイル63、振動板64から構成され、ボイスコイル63に電気端子65から電流を流して磁力を発生させ、発生した磁力により振動板64に吸引と反発を繰り返させて、音を発生させた。振動板64の周囲は連結部材66によって筐体67に接続している。比較例4の音響素子は、直径20mmの円形で、厚さ2.5mmである。実施例9と同様に、音響素子の30cm距離の音圧レベルと音圧周波数特性を測定したところ、共振周波数は730HZ、音圧レベルは73dBであった。

[0080] 実施例9と比較例4とを比較することにより、本発明の音響素子を携帯電話に搭載することで、従来の電磁式型音響素子に比べ、周波数帯域が広く、高い音圧で音の再生が可能であることが確認された。

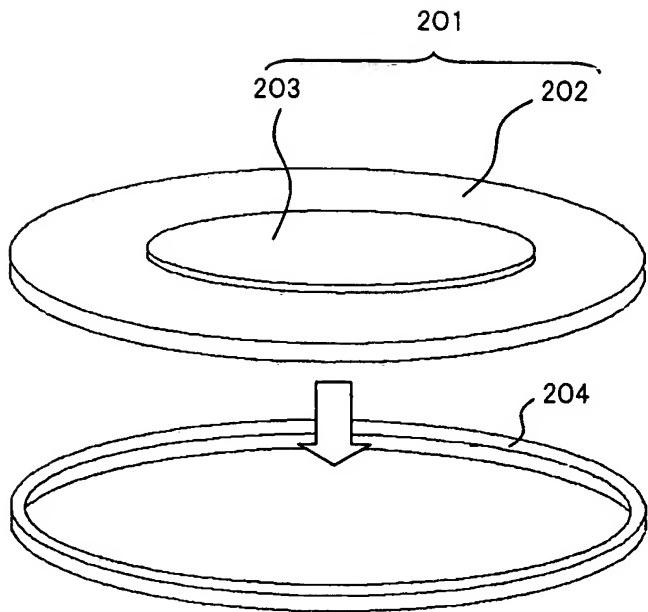
[0081] 以上、発明を実施するための最良の形態、および実施例1～9、比較例1～4の結果で詳細に説明したように、本発明の圧電アクチュエータは、薄型小型で、振動振幅が大きく、外径寸法を変えずに共振周波数の調整が可能で、しかも高い信頼性を有しており、電子機器等への幅広い応用が可能である。

## 請求の範囲

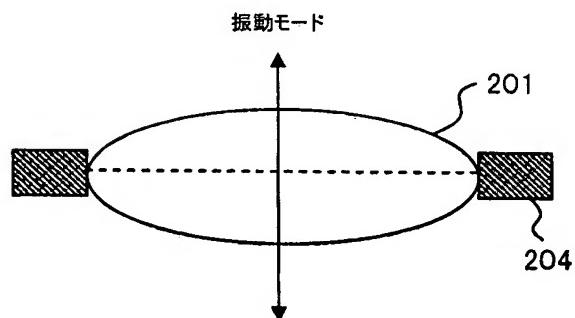
- [1] 電界の状態に応じて少なくとも対向する2つの面が伸縮運動をする圧電体を有する圧電素子と、  
該圧電素子を前記2つの面の少なくともいずれかで拘束する拘束部材と、  
該拘束部材の周囲に設けられた支持部材と、  
両端の各々を該拘束部材と該支持部材とに固定され、前記の拘束される面と略平行な方向に曲げの中立軸を有する複数のはり部材とを有し、  
前記拘束部材は、該拘束部材と前記圧電素子との拘束効果で発生した振動が前記はり部材で増幅されることによって振動する、圧電アクチュエータ。
- [2] 前記はり部材は直線ばかりである、請求項1に記載の圧電アクチュエータ。
- [3] 前記拘束部材は前記圧電素子を拘束する台座と、該台座から突き出して前記はり部材を構成する複数の腕とを有する、請求項1または2に記載の圧電アクチュエータ。
- [4] 前記拘束部材は、前記圧電体と振動方向が異なる第2の圧電素子である、請求項1から3のいずれか1項に記載の圧電アクチュエータ。
- [5] 前記圧電素子は、複数の前記圧電体と、該圧電体に電界を印加する複数の電極層とが交互に積層して形成されている、請求項1から3のいずれか1項に記載の圧電アクチュエータ。
- [6] 前記圧電素子は前記2つの面の少なくともいずれかに絶縁層を有する、請求項1から5のいずれか1項に記載の圧電アクチュエータ。
- [7] 前記圧電素子は直方体である、請求項1から6のいずれか1項に記載の圧電アクチュエータ。
- [8] 請求項1から7のいずれか1項に記載の圧電アクチュエータと、  
該圧電アクチュエータと連結され、該圧電アクチュエータから伝達された振動によって音を放射する振動膜とを有する音響素子。
- [9] 前記圧電アクチュエータと前記振動膜との間に振動伝達材をさらに有する、請求項8に記載の音響素子。
- [10] 請求項1から7のいずれか1項に記載の圧電アクチュエータを有する電子機器。

- [11] 請求項8または9に記載の音響素子を有する電子機器。
- [12] 互いに異なる共振周波数を有する請求項8または9に記載の音響素子を複数個有し、音圧の周波数応答を平準化させる音響装置。
- [13] 請求項12に記載の音響装置を有する電子機器。

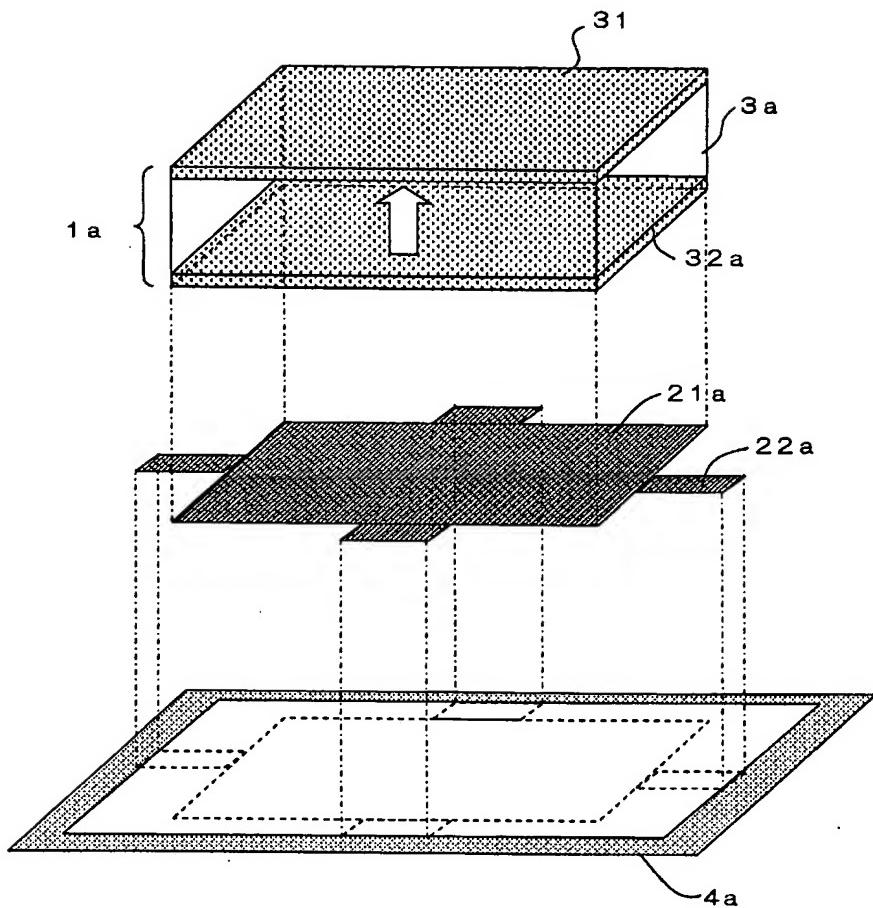
[図1A]



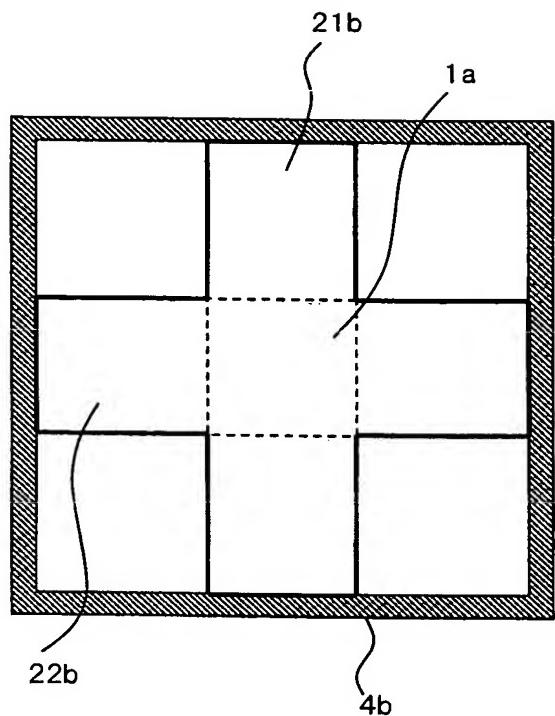
[図1B]



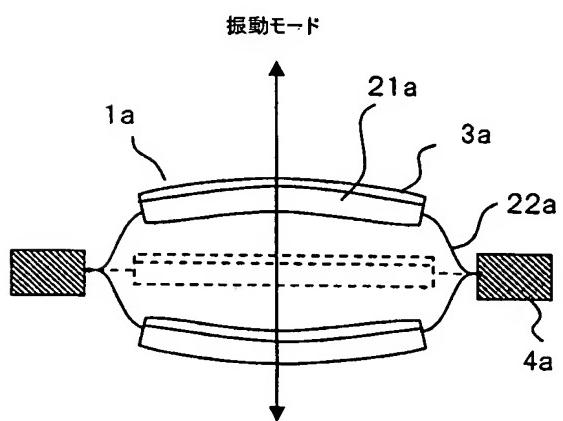
[図2]



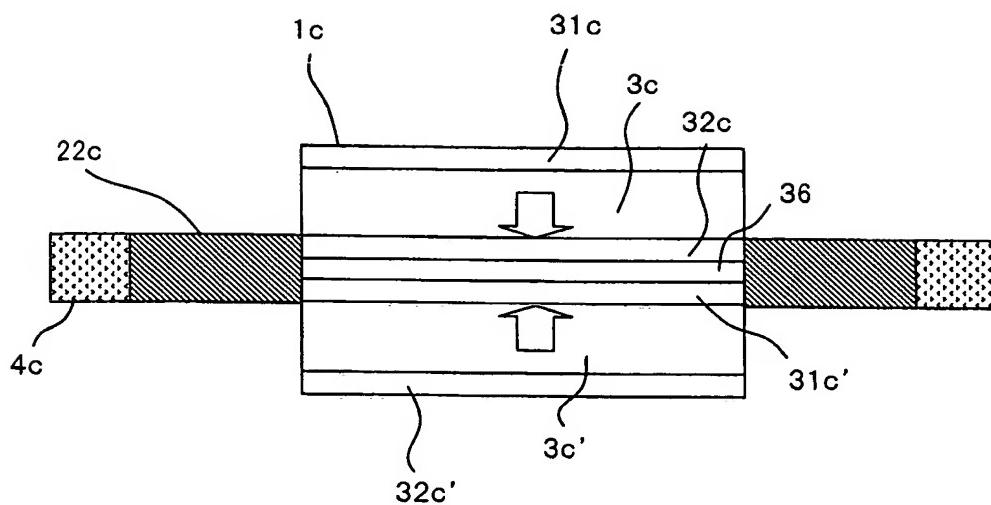
[図3]



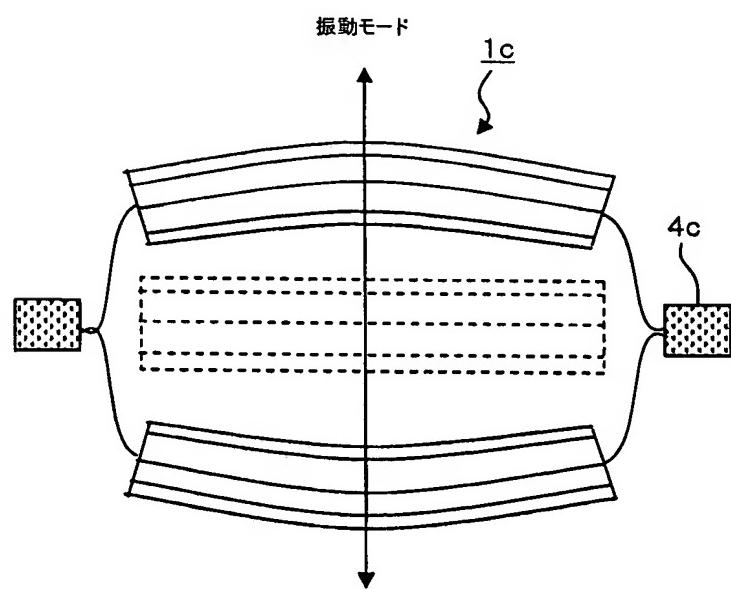
[図4]



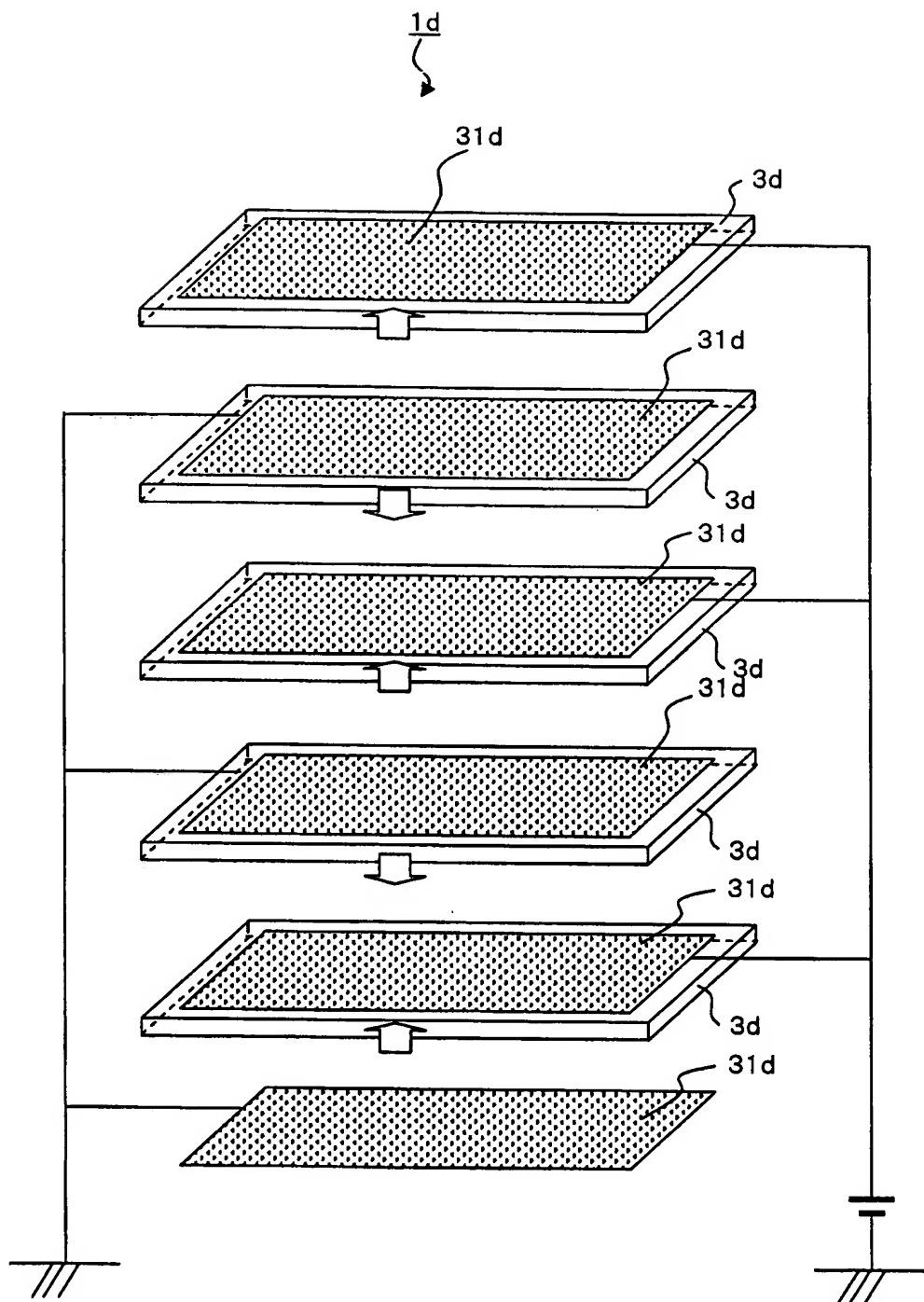
[図5]



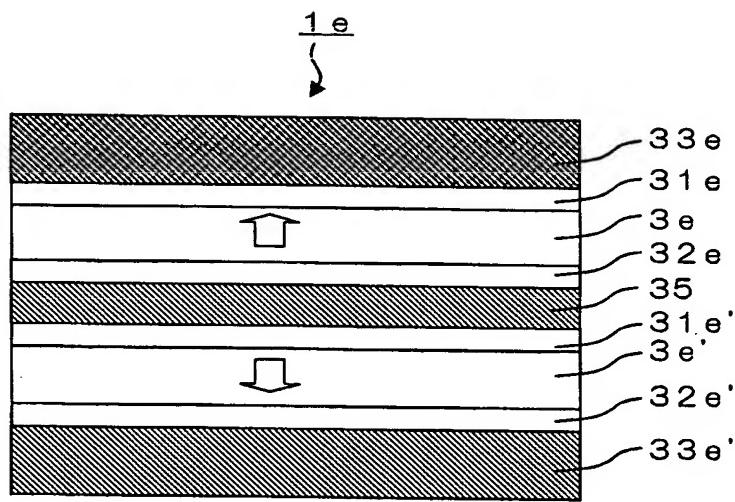
[図6]



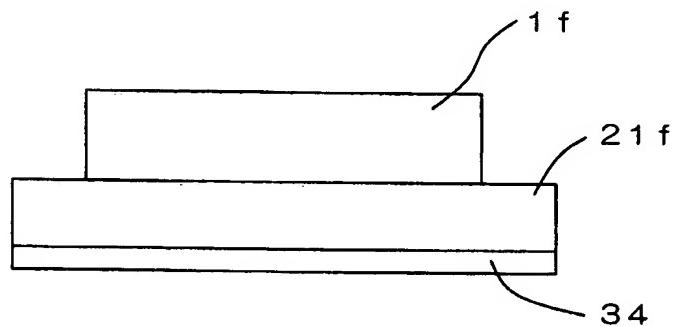
[図7]



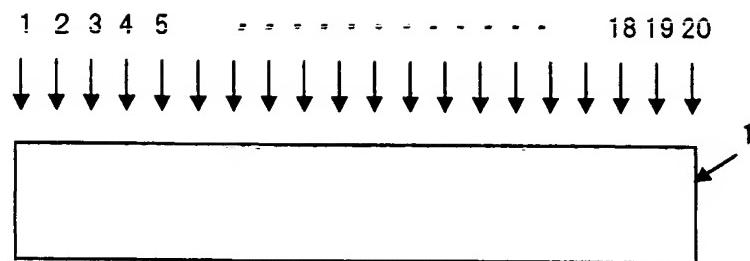
[図8]



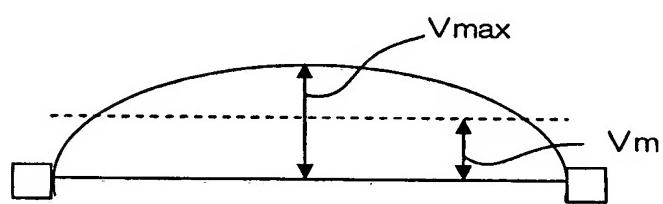
[図9]



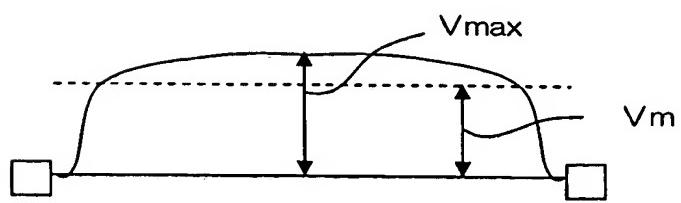
[図10]



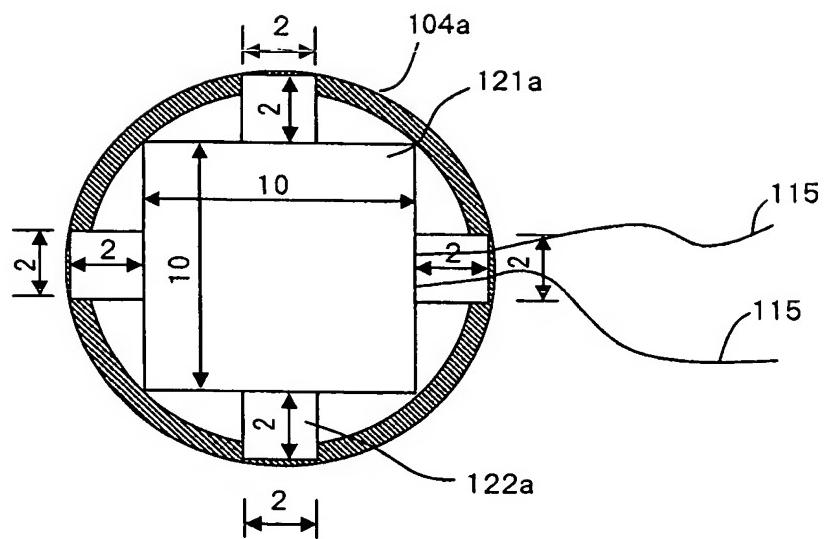
[図11A]



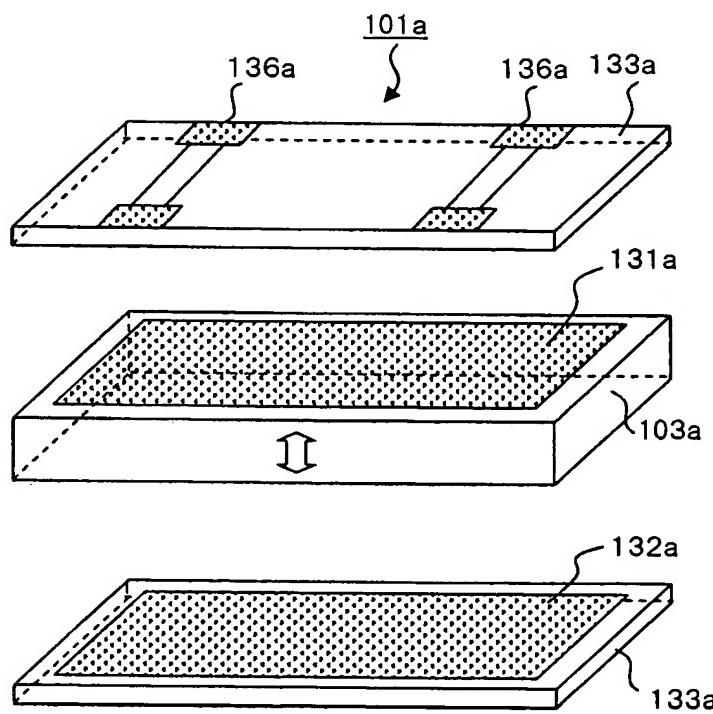
[図11B]



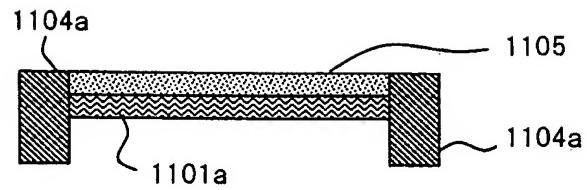
[図12A]



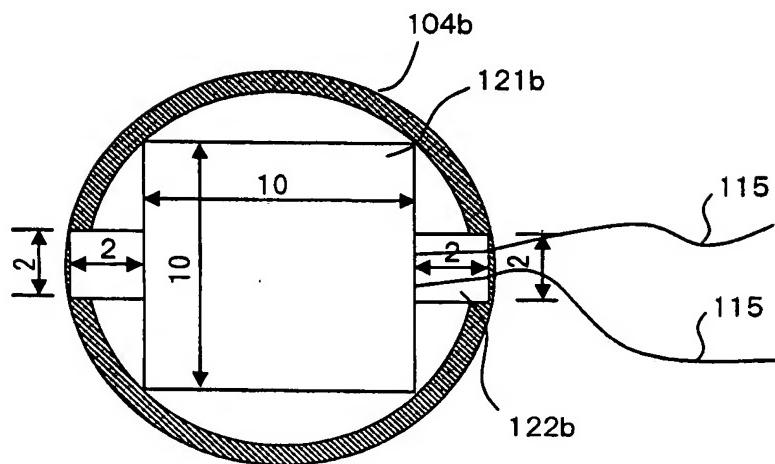
[図12B]



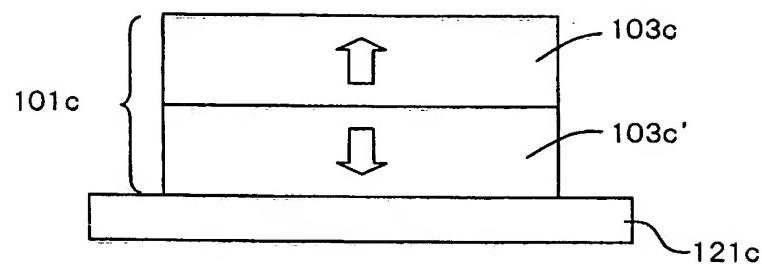
[図13]



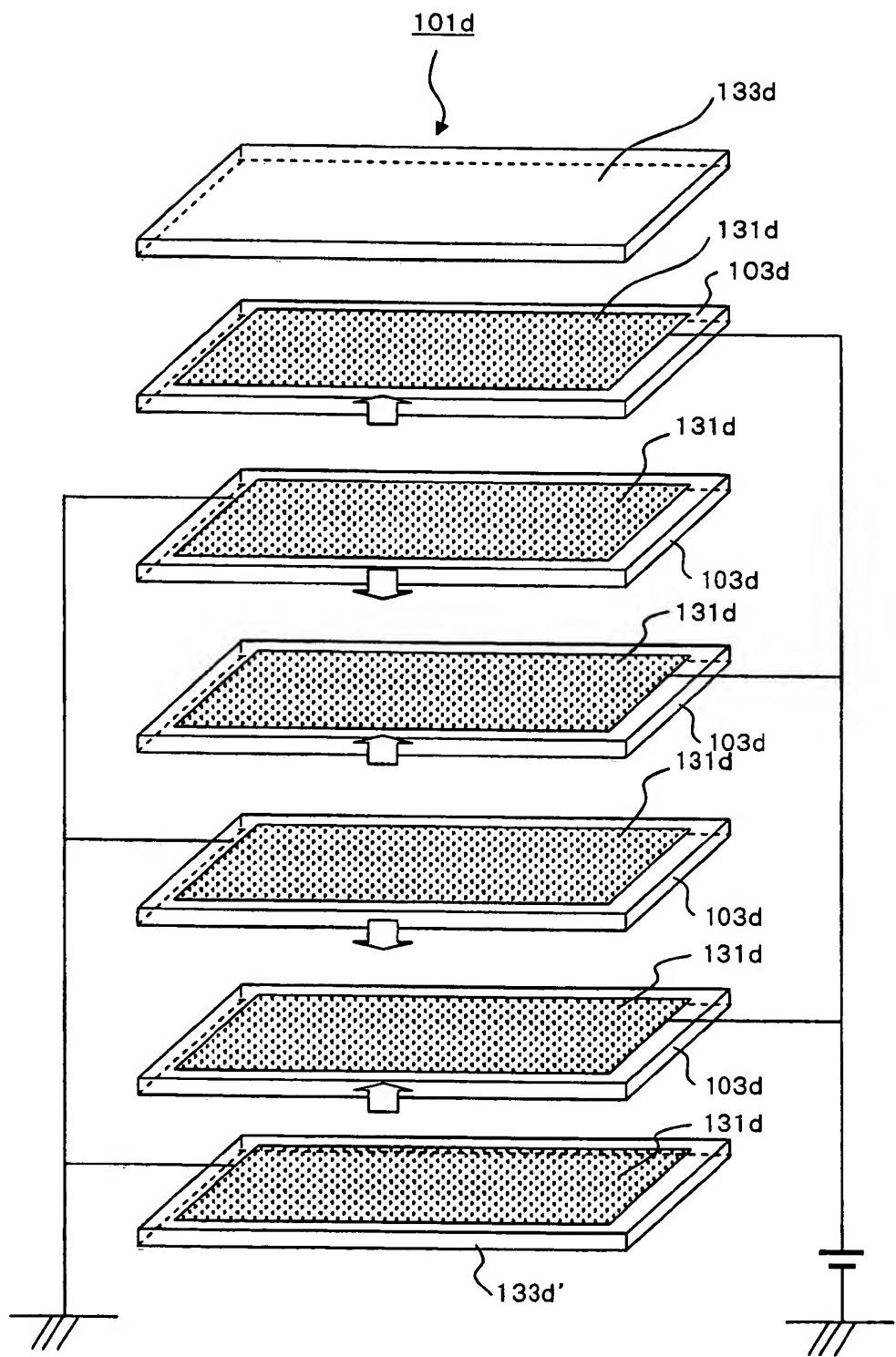
[図14]



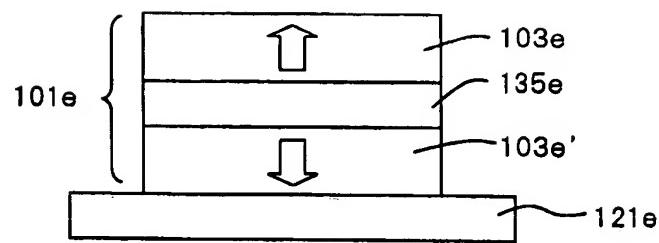
[図15]



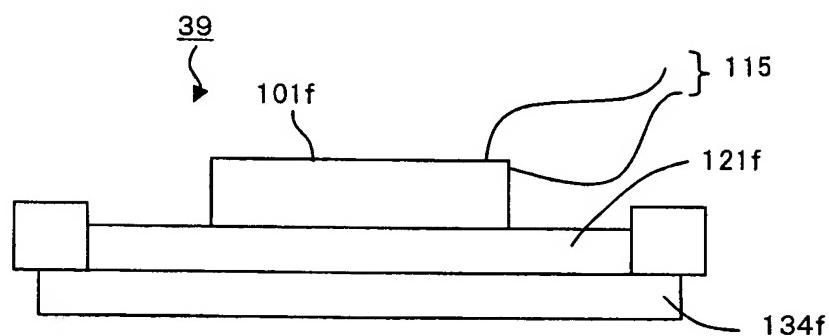
[図16]



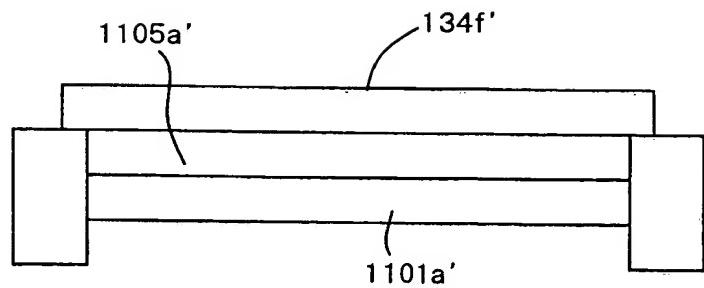
[図17]



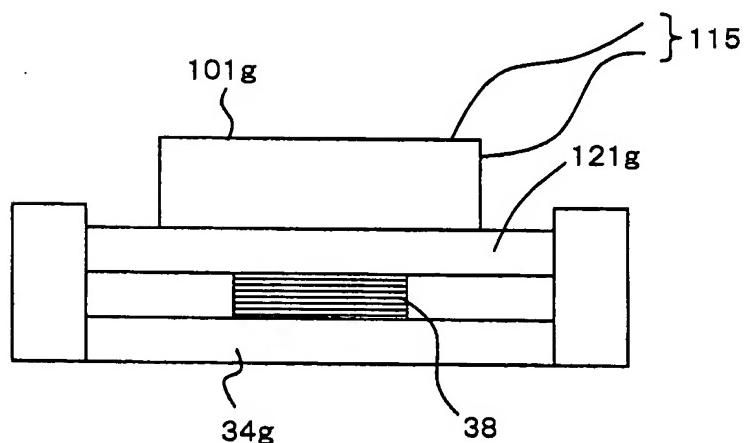
[図18]



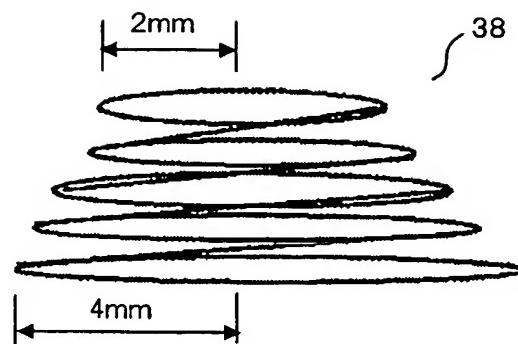
[図19]



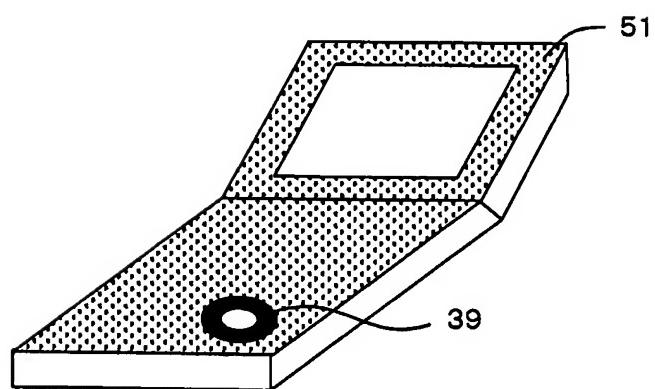
[図20A]



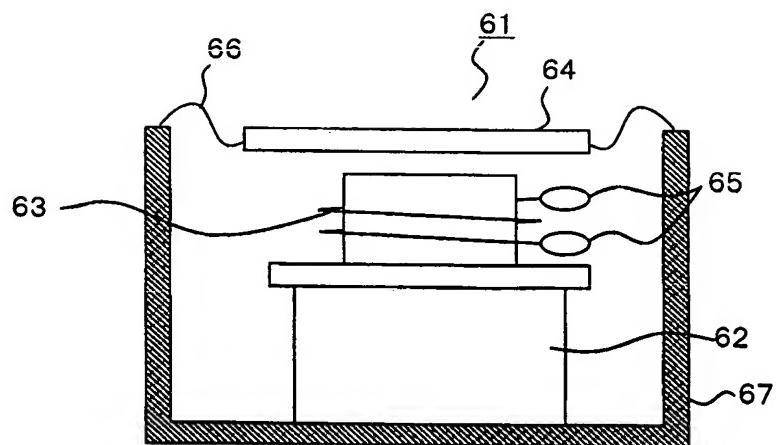
[図20B]



[図21]



[図22]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP2004/018002

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> H04R17/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
Int.Cl<sup>7</sup> H04R17/00, H02N2/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
 Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005  
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2001-339791 A (Taiyo Yuden Co., Ltd.), 07 December, 2001 (07.12.01), Par. Nos. [0016] to [0022]; Figs. 1, 2 (Family: none)	1-13
A	JP 11-69491 A (Miyota Co., Ltd.), 09 March, 1999 (09.03.99), Par. Nos. [0005], [0011] to [0013]; Fig. 1 & US 6396201 B1 & GB 2345397 A & WO 99/9647 A1 & HK 1025193 A	1-13

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date  
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
 "Y" document of particular relevance; the claimed Invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
07 March, 2005 (07.03.05)

Date of mailing of the international search report  
29 March, 2005 (29.03.05)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Faximile No.

Telephone No.

## 国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2004/018002

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. C1' H04R17/00

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. C1' H04R17/00  
Int. C1' H02N 2/00

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2006年  
日本国登録実用新案公報 1994-2005年  
日本国実用新案登録公報 1996-2005年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2001-339791 A (太陽誘電株式会社) 2001.12.07, 第0016-0022欄 第1, 2図 (ファミリーなし)	1-13
A	JP 11-69491 A (ミヨタ株式会社) 1999.03.09, 第0005, 0011-0013欄 第1図 & US 6396201 B1 & GB 2345397 A & WO 99/9647 A1 & HK 1025193 A	1-13

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 07.03.2005	国際調査報告の発送日 29.3.2005
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 江嶋 清仁 電話番号 03-3581-1101 内線 3540 5C 7928